

Ленинградский государственный университет

Поступило в Редакцию  
25 июля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 17 12 сентября 1990 г.

05.2; 07; 09

© 1990

## ЭФФЕКТИВНОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА НА МАГНИТОСТАТИЧЕСКОЙ ВОЛНЕ В ПЛЕНКЕ ФЕРРИТА

А.А. К л и м о в, В.Л. П р е о б р а ж е н с к и й,  
Ю.К. Ф е т и с о в

Когерентное рассеяние света на магнитостатической волне (МСВ) при его волноводном распространении в пленке феррита [1] перспективно для управления оптическим излучением, спектрального анализа и обработки радиосигналов диапазона частот 1–20 ГГц [2]. Наиболее важными характеристиками взаимодействия света с МСВ являются эффективность рассеяния  $\eta$ , равная отношению интенсивности рассеянного света на выходе к интенсивности света на входе в волновод, и ширина полосы частот МСВ  $\Delta f$ , в которой наблюдается рассеяние.

Как показано экспериментально в работах [1, 3–5], при использовании планарных волноводов, изготовленных из эпитаксиальных пленок железиттриевого граната (ЖИГ), и на частотах МСВ в пределах 3–9 ГГц, эффективность коллинеарного рассеяния не превышала 4% на 1 Вт мощности возбуждающего СВЧ сигнала, а ширина полосы частот взаимодействия по уровню –3 дБ составляла  $\Delta f \approx 15$  МГц. Повысить эффективность рассеяния предлагалось путем использования  $Bi$ -содержащих пленок ЖИГ [6,7], однако технология выращивания таких пленок, обладающих малыми магнитными потерями, пока не освоена. В то же время возможности повышения эффективности рассеяния путем оптимизации условий взаимодействия света с МСВ до настоящего времени остались практически не исследованными.

В настоящей работе экспериментально обнаружено существенное увеличение эффективности и сужение полосы частот рассеяния света на МСВ, достигнутое за счет выбора оптимальных параметров области взаимодействия и фокусировки пучка МСВ с помощью неоднородного намагничивающего поля. В экспериментах была использована пленка ЖИГ ( $Y_3Fe_5O_{12}$ ) толщиной 3.8 мкм с намагниченностью насыщения  $\mu M = 1750$  Гс и шириной линии однородного

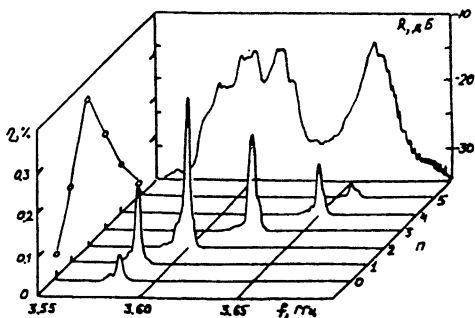


Рис. 1. Зависимость эффективности  $\eta$  коллинеарного  $TM_n \rightarrow TE_n$  рассеяния света от частоты МСВ  $f$ , номера оптической моды  $n$  и амплитудно-частотная характеристика МСВ.

резонанса  $\Delta H \approx 0.6$  Э, выращенная методом жидкофазной эпитаксии на подложке размерами  $6 \times 25$  мм<sup>2</sup> с ориентацией (111). Для света с длиной волны  $\lambda = 1.15$  мкм показатель преломления пленки равнялся 2.22, постоянная фарадеевского вращения составляла  $F = 280$  град/см, а коэффициент поглощения света при волноводном распространении, измеренный методом подвижной призмы, не превышал  $\alpha = 1.2$  см<sup>-1</sup>.

Ввод и вывод пучка оптического излучения с апертурой 1 мм проводили с помощью приклеенных на поверхность пленки призм из GaP с цилиндрическими контактными поверхностями шириной 5 мм, расстояние между которыми составляло 1.2 см. Для возбуждения поверхностных МСВ использовали проволочную антенну диаметром 50 мкм и длиной 6 мм, приклеенную между призмами вблизи входной призмы. Внешнее однородное намагничивающее поле напряженностью  $H_0 = 650$  Э было приложено касательно к плоскости пленки и перпендикулярно направлению распространения света и МСВ, неоднородность поля создавали с помощью двух небольших постоянных магнитов, расположенных вблизи выходной призмы симметрично с обеих сторон от пленки ЖИГ.

За счет выбора угла ввода света, поляризации входного излучения и ориентации выходного анализатора, в пленке возбуждали  $TM_n$  моды с различными номерами  $n$  и регистрировали интенсивность  $TE_n$  мод на выходе из волновода при изменении частоты СВЧ сигнала, возбуждающего МСВ, в пределах  $f = 3.5 \dots 4.2$  ГГц и уровне входной мощности  $P = 10$  мВт.

На рис.1 показаны зависимости выходной интенсивности шести наблюдавшихся в пленке  $TE$  мод от частоты МСВ. Для каждой моды экспериментально подбирали свою неоднородность поля, обеспечивающую максимальную эффективность рассеяния. Видно, что при увеличении номера взаимодействующих мод в соответствии с усло-

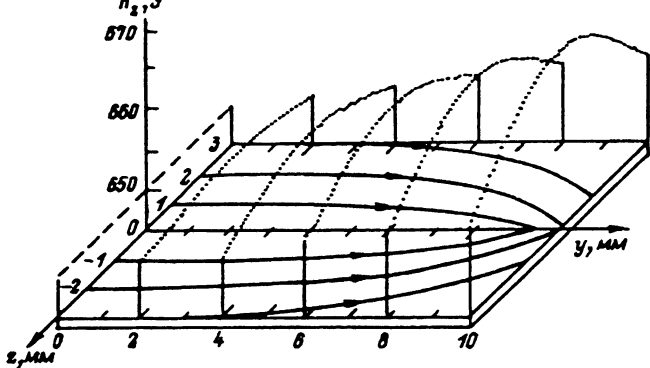


Рис. 2. Фокусировка пучка поверхностных МСВ в неоднородном магнитном поле.

вием синхронизма  $\beta_{TE_n} - \beta_{TM_n} = k$  ( $\beta_{TE_n}$ ,  $\beta_{TM_n}$  - постоянные распространения  $TE_n$  и  $TM_n$  мод,  $k$  - волновое число МСВ) и законом дисперсии поверхностной МСВ растет  $k$  и частота, при которой наблюдается преобразование.

Для второй оптической моды ( $k \approx 128 \text{ см}^{-1}$ ) эффективность рассеяния  $\eta = (I_{TE} / I_{TM_{вх}})$  100% в пересчете на один ватт входной мощности имела величину 35%/Вт, что почти на порядок больше, чем наблюдалось ранее в пленках чистого ЖИГ [1, 3, 6] и сравнимо с эффективностью рассеяния света на МСВ в  $Bi$ -содержащих пленках [7]. Ширина полосы частот взаимодействия по уровню -3 дБ составляла  $\Delta f = 4 \text{ МГц}$ . Если учесть также, что измеренный на частоте преобразования КСВн = 2,5, то в пересчете на ватт мощности МСВ эффективность рассеяния достигала  $\eta = 40 \text{ %/Вт}$ .

Полученное увеличение эффективности и сужение полосы частот рассеяния света на МСВ могут быть объяснены следующим образом. Интенсивность рассеянной волны определяется величиной оптического поглощения, пространственным распределением амплитуды и фазы МСВ. В рамках теории связанных волн [1] для однородного амплитудного распределения высокочастотной намагниченности  $m$  МСВ и в режиме заданного поля падающей световой волны с учетом оптических потерь эффективность резонансного преобразования мод определяется выражением  $\eta \approx (\alpha y)^2 \cdot e^{-\alpha y}$ , где  $\alpha = F \frac{m}{M}$ .

Оптическое затухание приводит к формированию оптимальной длины взаимодействия  $L = 2/\alpha$ , на которой эффективность рассеяния максимальна и равна  $\eta = \left(\frac{2\alpha}{\alpha}\right)^2 \cdot e^{-2}$ . В наших экспериментах была выбрана длина взаимодействия, близкая к оптимальной, и использована пленка ЖИГ с относительно малым оптическим поглощением.

Формирование амплитудно-фазового распределения МСВ осуществлялось путем фокусировки МСВ с помощью неоднородного магнитного поля. При этом удалось скомпенсировать затухание МСВ и сохранить постоянство ее амплитуды на всей длине взаимодействия в пределах апертуры пучка света. На рис. 2 показано измеренное распределение напряженности намагничивающего поля, при котором наблюдалось наиболее эффективное рассеяние второй волноводной моды. Полученное распределение хорошо аппроксимируется аналитической функцией  $H(y, z) = H_0 + 15y \cdot \cos^2(\pi z)$ , где  $y, z$  — берутся в см. Сплошными линиями на рис. 2 изображены траектории лучей поверхностных МСВ, построенные с использованием метода геометрической оптики [8] и аналитического выражения для  $H(y, z)$ . Как показали расчеты, наличие поперечной неоднородности поля приводит к фокусировке пучка МСВ, а положительный продольный градиент обеспечивает примерное равенство продольной компоненты волнового числа МСВ в апертуре пучка света для лучей, вышедших из различных участков возбуждающей антенны, и как следствие эффективное преобразование мод на всей длине взаимодействия. Фокусировка МСВ проявлялась при сканировании узким пучком света по ширине пленки феррита. Когда пучок проходил по середине пленки, величина  $\eta$  была в 3–5 раз больше, чем когда он проходил вблизи краев пленки.

Полученные результаты демонстрируют возможность достижения высоких значений дифракционной эффективности и частотного разрешения в магнитооптических устройствах на основе рассеяния света на МСВ за счет выбора оптимальной длины взаимодействия и неоднородности намагничивающего поля.

Авторы благодарят П.С. Костюка за предоставление пленок ЖИГ.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

[1] Fisher A.D., Lee J.N., Gaynor E.S., Tveten A.V. // Appl. Phys. Lett. 1982. V. 41. N 9. P. 779–781.

[2] Tsai C.S., Young D. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54. N 3. P. 196–198.

[3] Руткин О.Г., Ковшиков Н.Г., Сташкевич А.А., Калиникос Б.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 15. С. 933–936.

[4] Сташкевич А.А., Калиникос Б.А., Ковшиков Н.Г., Руткин О.Г. и др. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 1. С. 49–53.

[5] Климов А.А., Фетисов Ю.К. Тез. докл. региональн. конф. „Спинволновые явления электроники СВЧ“, Краснодар, 1987. С. 191–192.

[6] Богун П.В., Гусев М.Ю., Кандыба П.Е., Попков А.Ф. и др. // ФТТ. 1985. Т. 27. В. 9. С. 2776–2778.

[7] Тамада Н., Канеко М., Окамото Т. // J. Appl. Phys. 1988. V. 64. N 2. P. 554-559.

[8] Беспятых Ю.И., Зубков В.И., Тарасенко В.В. // ЖТФ. 1980. Т. 50. В. 1. С. 140-146.

Московский институт радиотехники,  
электроники и автоматики

Поступило в Редакцию  
19 мая 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 17

12 сентября 1990 г.

05.2; 09

© 1990

### ПРОХОЖДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В ФЕРРОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АНТЕННОЙ

Е.О. Каменецкий, Н.Г. Ковшиков

К многочисленным исследованиям прохождения и отражения магнитостатических волн (МСВ) неоднородностями в ферродиеlectricких пленках относится ряд работ по изучению влияния областей с металлической полоской. В этих работах рассматриваются ситуации, когда магнитостатические волны распространяются в бесконечно широкой ферритовой пленке, а длина металлической полоски, как правило, считается малой по сравнению с характерным масштабом изменения поля основной моды микрополосковой линии, образованной этой полоской. Концы полосок предполагались незамкнутыми на нагрузку [1-4]. В работе [5] получены выражения для коэффициента отражения МСВ от металлической полоски произвольной длины с произвольно нагруженными концами, из которых следует, что коэффициент отражения зависит от длины полоски, нагрузок на его концах и формы падающей МСВ.

В настоящее время отсутствуют экспериментальные работы по исследованию прохождения МСВ через область с металлической полоской, нагруженной на произвольную нагрузку. В данной работе представлены результаты экспериментального исследования влияния нагрузок промежуточной антенны на прохождение поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ). Наряду с пассивными нагрузками рассмотрен случай активной нагрузки, с помощью которой получено усиление ПМСВ. В экспериментах исследуется ситуация, при которой необходим учет ширины ферритовой пленки, а также учет электрической длины антенны спиновых волн.

Использовались пленки ЖИГ с намагниченностью насыщения  $4\pi M_0 = 1750$  Гс и толщинами  $d = 7, 20, 43$  мкм. Ширина пленки